

벡터적응필터를 이용한 컬러 역하프토닝

(Color Inverse Halftoning using Vector Adaptive Filter)

김 찬 수 [†] 김 용 훈 ^{**} 이 태 흥 ^{***}
 (Chansu Kim) (Yonghun Kim) (Taihong Yi)

요 약 본 논문은 컬러 역하프토닝에서 참조표에 기반을 둔 벡터적응필터 방법을 제안한다. 역하프토닝은 하프톤영상을 연속계조 영상으로 변환한다. 참조표를 사용하는 방법에는 템플릿과 학습영상이 필요하며 샘플 하프톤영상과 원영상내의 분포된 패턴으로부터 참조표를 구할 수 있다. 일반적으로 참조표에 기반한 방법들이 다른 방법에 비하여 처리가 빠르며 PSNR면에서도 더 좋은 성능을 보이지만 처리과정에서 참조표에 존재하지 않는 패턴을 어떻게 처리 하느냐에 따라서 많은 품질의 변화를 보인다. 이 논문에서는 이와 같이 존재하지 않는 패턴을 보상하기 위하여 벡터적응필터를 제안 하였는데, 이 방법은 처리하는 픽셀의 주변 화소의 색상, 색농도, 밝기 등의 정보를 이용함으로써 컬러 역하프토닝에서 더 좋은 품질을 얻을 수 있다. 제안된 벡터적응 필터 방법이 기존의 최량선형추정에 의한 방법보다 PSNR면에서 더 좋은 결과를 얻을 수 있음을 실험결과에서 알 수 있었다. 참조표의 템플릿 크기 가 커질수록 제안한 방법이 더 좋은 결과를 얻을 수 있다.

키워드 : 하프토닝, 역하프토닝, 참조표, 벡터적응필터, 컬러영상

Abstract A look-up table based vector adaptive filter is proposed in color inverse halftoning. Inverse halftoning converts halftone image into a continuous-tone image. The templates and training images are required in the process of look-up table based methods, which can be obtained from distributed patterns in the sample halftone images and their original images. Although the look-up table based methods usually are faster and show better performances in PSNR than other methods do, they show wide range of qualities depending on how they treat nonexisting patterns in the look-up table. In this paper, a vector adaptive filter is proposed to compensate for these nonexisting patterns, which achieves better quality owing to the contributed informations about hue, saturation, and intensity of surrounding pixels. The experimental results showed that the proposed method resulted in higher PSNR than that of conventional Best Linear Estimation method. The bigger the size of the template in the look-up table becomes, the more outstanding quality in the proposed method can be obtained.

Key words : halftoning, inverse halftoning, look-up table, vector adaptive filter, color image

· 이 논문은 2004년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임

[†] 학생회원 : 영남대학교 전자공학과
 sadcs@ynu.ac.kr
^{**} 정 회 원 : 영남대학교 전자정보공학부 교수
 garam027@ynu.ac.kr
^{***} 정 회 원 : 영남대학교 전자정보공학부 전자공학과 교수
 taehong@ynu.ac.kr
 (Corresponding author임)
 논문접수 : 2007년 10월 22일
 심사완료 : 2008년 1월 23일

Copyright©2008 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용 제35권 제3호(2008.3)

1. 서 론

하프토닝은 연속적인 그레이 레벨을 가진 영상을 인쇄하기 위해 용이한 이진 데이터를 가진 영상으로 바꾸는 과정이다. 이런 하프토닝은 신문, 책, 광고물과 같은 이진 영상 데이터가 필요한 인쇄산업에서 중요하게 사용되고 있다.

하프토닝 처리된 영상은 이진영상이므로 원영상이 가지는 연속 데이터 정보를 상당히 잃어버린 영상이다. 따라서 영상변환, 영상압축 등과 같은 처리과정에 대해서 하프토닝 처리하기 전의 원영상보다 열화가 증가한다. 영상을 디스플레이하여 모니터 등에 표시하려면 연속계조영상이 더 적합하나 하프톤영상에서는 유실된 정보로 인하여 왜곡이 많이 발생한다. 이러한 하프톤영상의 유

실된 정보를 복원하기 위하여 역하프토닝 과정이 필요하다.

역하프토닝 방법에는 가우시안 저역통과 필터링, FIR 필터링, 비선형 필터링, 웨이브렛 변환, 반복적인 방법에 의한 추정, 벡터 양자화와 같은 다양한 방식이 제안되어 왔다[1]. 위의 방식들은 대부분의 하프토닝 방법이 원영상의 고주파 성분을 많이 잃게 된다는 것에 착안하여 역하프토닝 과정에서 고주파성분을 복원하는 것에 중점을 두는 방식이다. 이런 방식들은 선형필터처리와 같은 연산 과정을 거치기 때문에 처리속도가 늦고 처리결과도 하프토닝 방법에 따라 다양하다. 이에 반해 참조표(Look-Up Table)를 이용한 역하프토닝 방법은 선형필터처리와 같은 연산 과정을 거치지 않기 때문에 처리속도가 빠르고 특정 영상 모델을 가정하여 처리하는 방법이 아니기 때문에 다양한 하프토닝 방법에 대해서도 고른 성능을 가진다[2].

Netravali에 의해 처음 사용된 참조표를 이용하는 방법은 특정 하프톤영상에 대한 디터링 행렬과 같은 특정 정보들을 알고 있다고 가정하고 실험을 했지만 실제로는 일반 영상에서 이 정보들을 알 수 없다[3]. Ting과 Riskin에 의한 논문에서도 참조표를 이용하였지만 우수한 성능을 보이지 못하였다[4]. 참조표를 이용한 역하프토닝 방법에서 가장 중요한 점은 참조표 생성과 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 데이터 값 추정이다.

본 논문에서는 컬러 하프톤영상에 대해서 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 데이터 값 추정에 벡터적응필터(VAF : Vector Adaptive Filter)[5]를 적용하는 역하프토닝 방법을 제안한다. 벡터적응필터는 기존의 참조표 방법에서 사용하던 최량선형추정(BLE: Best Linear Estimation)[2]보다 컬러 성분을 더욱 잘 표현한다.

본론에서는 참조표를 이용한 역하프토닝 방법을 사용하기 위해서 기본적으로 필요한 참조표를 생성하는 방법과 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 데이터 값을 추정하기 위해 벡터적응필터를 적용하는 방법을 설명하였다. 그리고 기존의 방법과 제안한 방법의 실험결과를 비교 검토하였다.

2. 참조표와 벡터적응필터

2.1 참조표의 생성 및 적용

참조표는 다수의 패턴과 그에 해당하는 반환값으로 구성되며 템플레이트 내부의 픽셀수를 n 이라 하면 $2^n \times 2$ 의 행렬구조를 가진다. 참조표를 이용하여 역하프토닝 하는 방법은 처리하고자 하는 하프톤영상에 템플레이트(Template)를 적용시킨 후 발생하는 패턴을 참조표에서 찾아서 그 패턴에 해당하는 반환값을 사용하는 것이다[2].

참조표는 원영상과 하프톤영상의 값을 이용하여 작성한다. 참조표를 생성하기 위해서는 템플레이트와 학습영상이 필요하다. 템플레이트는 적용 윈도우의 크기와 모양을 의미하며 참조표를 만들기 위해서 사용하는 영상의 위치정보를 반영한다. 학습영상은 템플레이트를 적용하여 패턴과 그 패턴에 해당하는 반환값을 만들기 위해 사용하는 영상이다. 이 학습영상은 참조표의 성능을 좌우하는 중요한 요소이며 저주파 성분과 고주파 성분을 균형 있게 잘 표현하고 있는 영상으로 이루어져야 한다.

템플레이트는 그림 1과 같이 4×4 크기의 윈도우이다. 템플레이트를 하프톤영상에 적용시킬 때 윈도우의 픽셀을 어떤 순서로 나열하는가에 따라서 발생하는 패턴이 결정된다. 나열 순서는 임의로 결정할 수 있으나 한번 결정되면 전 과정에서 동일하게 사용해야 된다. 여기서는 그림 1과 같은 위치에 따른 순서로 픽셀값을 일차원적으로 나열하여 사용하였다. 템플레이트에 대한 반환값은 템플레이트 중앙의 4픽셀 중에서 선택 가능하며 본 논문에서는 '0'의 위치로 설정하였다.

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	0	11
12	13	14	15

그림 1 4×4 템플레이트 및 나열순서

그림 1의 템플레이트를 이용하여 R, G, B 각각에 대한 참조표를 생성하는 방법은 다음과 같다.

단계 1. h 개의 연속계조 원영상과 이를 오류확산법[6]으로 하프토닝한 영상을 준비한다.

단계 2. $LUT[i]=0$, $CNT[i]=0$ 으로 초기화를 한다. 여기서 $LUT[i]$ 는 템플레이트에서 생성된 패턴의 반환값에 해당하는 R, G, B 각각의 그레이 레벨값들을 저장하기 위한 메모리 공간이다. $CNT[i]$ 는 템플레이트에서 발생한 각 패턴의 발생횟수를 저장하기 위한 공간이다. i 는 발생 가능한 패턴의 참조표상의 위치를 의미하며 2^n 의 범위를 가진다.

단계 3. 그림 1의 템플레이트를 하프톤영상의 원쪽 최상단에 위치시킨다.

단계 4. 식 (1)을 이용하여 2진수로 이루어진 템플레이트의 패턴을 10진수 N 으로 변환한다. 이때 N 은 이

템플레이트가 만들어내는 참조표상의 위치이다. N 은 $0 \leq N \leq 2^n$ 의 범위 내에서 존재한다. T_k^n 는 h 번째 하프톤영상에 대한 템플레이트에서의 k 번째에 해당하는 픽셀값을 의미한다.

$$N = \sum_{k=0}^{n-1} 2^k T_k^n \quad (1)$$

식 (1)은 템플레이트의 인식을 쉽게 하기 위하여 2진 조합의 패턴을 10진 숫자로 변환하는 식이다. 역수 2^k 는 2진 자리수이고 T_k^n 는 그 자리 값의 유무로써 템플레이트내의 픽셀값 0 또는 1의 값에 따라 결정된다.

단계 5. 식(2)와 식(3)을 이용하여 $LUT[i]$, $CNT[i]$ 의 값을 갱신한다. T_0^0 는 템플레이트에서 '0'의 위치에 해당하는 연속계조 원영상의 픽셀값을 의미한다.

$$CNT[M] = CNT[M] + 1 \quad (2)$$

$$LUT[M] = LUT[M] + T_0^0 \quad (3)$$

식 (2)는 특정 패턴의 발생횟수를 카운트하기 위한 식이고 식 (3)은 그 특정 패턴의 반환값들을 저장하기 위한 식으로 특정 패턴에 대한 평균적인 반환값을 구하기 위한 것이다. 특정 패턴의 평균적인 반환값은 반환값들의 총합인 식 (3)의 값을 전체 반복횟수인 식 (2)의 값으로 나누어 구한다.

단계 6. 템플레이트의 위치를 왼쪽에서 오른쪽으로 한 픽셀씩 이동하면서 단계 4에서 단계 6까지의 과정을 반복한다.

단계 7. h 번째 하프톤영상의 모든 위치에 대해서 단계 6까지의 과정이 끝나면 다음 하프톤영상에 대해서 단계 3부터 단계 7까지의 과정을 반복한다.

단계 8. 하프톤영상에서 동일한 패턴일지라도 원영상의 픽셀값은 다를 수 있기 때문에 반환값들이 일정하지 않으므로 이들 반환값들의 대표값을 결정해야 한다. 대표값은 반환값들의 평균값으로 식 (4)와 같다.

$$LUT[M] = \frac{VAL}{CNT[M]} \quad (4)$$

여기서 VAL 은 $LUT[M]$ 의 위치에 저장되어 있는 최종적인 그레이 레벨의 값이며 단계 7까지의 종료된 반환값들의 총합이다.

역하프톤과정에서 참조표를 적용하는 방법은 다음과 같다. 우선 처리하고자 하는 하프톤영상에 단계 3과 단계 4를 적용한다. 단계 4에서 구한 패턴의 10진수 값을 의미하는 N 의 값을 참조표에서 찾아서 $LUT[M]$ 의 위치에 있는 그레이 레벨의 값을 $LVAL$ 이라 한다. 이 값을 식 (5)와 같이 역하프톤영상에서 한 픽셀을 의미하는 메모리 공간 $LH[F]$ 의 위치에 대입한다.

$$LH[F] = LVAL \quad (5)$$

여기서 F 는 역하프톤 처리한 결과값이 들어갈 픽셀

이며 이는 템플레이트에서의 '0'의 위치이다. 단계 6과 단계 4의 과정을 반복적으로 실행하여 하프톤영상의 모든 픽셀에 적용시키면 역하프톤영상이 완성된다.

2.2 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 처리

참조표를 사용하여 역하프톤 하는 과정에서 참조표상에 존재하지 않는 패턴이 발생 할 수 있다. 이런 경우에는 다른 처리과정을 통하여 그 패턴의 반환값을 유추하여 사용한다. 기존의 처리과정에는 다음의 방법들이 사용되고 있다.

가. 저주파 통과 필터링(Low Pass Filtering)

저주파 통과 필터링은 존재하지 않는 패턴의 저주파 성분을 이용하는 방법으로 식 (6)과 같다.

$$IH[I] = \sum_{k=0}^n h(n) T_k \quad (6)$$

$IH[I]$ 는 저주파 통과 필터링 처리된 역하프톤영상의 I 번째 픽셀값이고 $h(n)$ 는 가우시안 형태의 고정된 가중치를 나타낸다. 이 가중치는 반복적인 시도에 의해서 높은 PSNR을 가지는 값을 선택하여 사용한다. T_k 는 템플레이트내의 k 번째 픽셀의 값을 의미한다.

나. 해밍 거리(Hamming Distance)

해밍 거리를 이용한 방법은 참조표상에 나타난 패턴의 분포 중에서 존재하지 않는 패턴과 해밍 거리가 가장 작은 분포를 가지는 값을 사용한다.

다. 최량선형추정(Best Linear Estimation)

최량선형추정은 참조표를 이용하여 참조표에 나타나지 않는 패턴의 값을 만들어 내는 방법이다. 템플레이트내에서의 패턴의 값들에 대한 행렬을 A 라 하고 그에 해당하는 반환값을 RV 라 한다. 식 (7)과 같이 A , RV 를 이용하여 최소제곱해 x 를 구한다.

식 (7)에서 구한 x 와 패턴의 값을 곱하여 존재하지 않는 패턴의 값을 구한다.

$$\begin{bmatrix} T_{0,0} & T_{0,1} & \dots & T_{0,n-1} \\ T_{1,0} & T_{1,1} & \dots & T_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{m-1,0} & T_{m-1,1} & \dots & T_{m-1,n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 \\ R_1 \\ \vdots \\ R_{m-1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$A \qquad x \qquad RV$

$$x = (A^T A)^{-1} A^T RV$$

2.3 벡터적응필터(Vector Adaptive Filter)

2.2절의 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 기존의 처리 방법에 비하여 제안한 벡터적응필터는 존재하지 않는 패턴이 발생 할 때마다 주위의 픽셀 정보를 이용하여 주변의 픽셀과 동질감을 갖는 픽셀은 가중치를 크게 하고 이질감을 갖는 픽셀에 대해서는 가중치를 적게 해주는 적응적인 방법을 적용하였다. 벡터적응필터는 컬러 하프톤영상에 대해서 R, G, B성분의 상관도를 고려하여 존재하지 않는 패턴의 값을 추정하는 방법이다. 여

기에 사용되는 거리와 각 정보는 그림 2와 같다. 식 (8)의 C 는 원점에서 무게 중심까지의 거리를 의미하고 무게 중심들 사이의 사이각 θ 는 식 (9)와 같다.

$$C = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \quad (8)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{V_i \cdot V_j}{|V_i| |V_j|} \right) \quad (9)$$

R, G, B 는 각각의 성분값, ‘ \cdot ’는 내적, V_i, V_j 는 각각 픽셀 i 와 j 의 R, G, B 성분으로 이루어진 벡터를 의미한다.

한 픽셀에 대해서 컬러 성분 R, G, B 값이 결정되면 그림 2와 같이 하나의 벡터로 표현할 수 있다. 픽셀간의 색상 차이는 벡터크기와 벡터사이의 각으로 나타난다. 원점으로부터 무게중심까지의 거리의 차는 색농도의 차이로, 사이각은 색상의 차이로 나타난다. 벡터적용필터는 무게중심과 각을 이용하여 가중치를 계산하고 이를 표에 존재하지 않는 패턴의 각 성분과 곱함으로써 존재하지 않는 패턴의 값을 만들어 낸다. 그림 2의 X그룹, Y그룹은 각각 템플레이트 내부의 픽셀을 벡터로 표현하여 유사한 색상을 가지는 벡터들을 분류한 것이다. V_i 와 V_j 는 각각 X그룹, Y그룹의 무게중심이다. 각각의 픽셀은 다른 픽셀과 비교하여 거리 C 가 유사하고 사이각 θ 가 작을수록 높은 가중치를 가지는데 Y그룹이 X그룹에 비해서 무게중심 가까이에 벡터들의 수가 많기 때문에 결과적으로 Y그룹의 벡터들이 가중치에 더 많은 영향을 미친다. 즉 템플레이트에 있는 픽셀들의 색상 중에서 발생빈도가 높은 색상을 가지는 픽셀에 높은 가중치가 주어지고 그 반대의 경우에는 낮은 가중치가 주어진다. 따라서 이 가변적인 가중치는 템플레이트를 적용시킬 때마다 주변의 픽셀들이 가지는 색정보를 적용적으로 반영한다. 이에 반해 기존 방법인 최적선행추정은 템플레이트 내부의 각 픽셀들에 대해서 고정적인 가중치를 부여하기에 템플레이트를 적용시킬 때 색정보를 유연하게 반영시킬 수 없다.

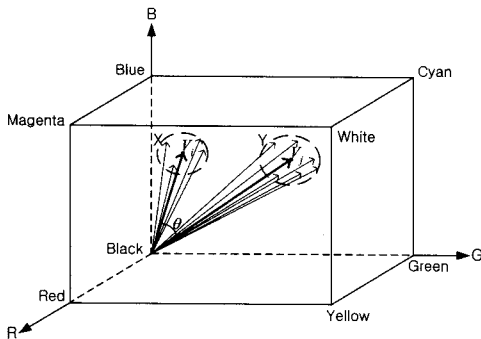


그림 2 R, G, B 컬러 입방체 모형

벡터적용필터를 이용한 가중치는 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 값을 생성할 때 반환값이 들어갈 위치의 주위에 있는 색정보를 반영하지만 기존의 최량선행추정은 참조표상의 패턴 분포와 이에 대한 반환값만을 이용한 선형 조합으로 값을 생성하기 때문에 실제 주위의 색정보를 활용 할 수가 없다. 따라서 제안한 벡터적용필터가 기존의 최량선행추정보다 더 우수한 컬러 성분을 나타낸다.

참조표에 패턴이 존재하지 않는 경우에 벡터적용필터를 사용하기 위해서는 우선 반환픽셀을 중심으로 R, G, B 각 성분에 윈도우를 씌운 후 발생하는 R, G, B 값을 이용하여 각 픽셀을 벡터로 표현하여 벡터크기를 구하고 벡터들 사이의 사이각을 구한다. C, θ 를 이용하여 식 (10)을 통해 가중치를 구한다.

$$w_k = \frac{\beta}{[1 + \exp(\alpha_k)]^\gamma} \quad (10)$$

여기서 k 는 픽셀의 위치를 의미하고 α_k 는 거리 C 혹은 사이각 θ 의 값이다. β 는 가중치의 값이 0과 1사이의 값을 갖게 하기 위한 상수이고 γ 는 잡음에 따라서 결정되는 상수이다.

식 (10)을 통해서 윈도우의 각 픽셀마다 가중치 w_k 가 결정된다. 이 가중치는 발생빈도가 높은 무게중심 부근에서 높은 수치를 가지고, 발생빈도가 낮은 무게중심 부근에서는 낮은 수치를 가진다. 따라서 참조표에 존재하지 않는 패턴이 발생할 때마다 그 패턴이 반환되는 픽셀의 주위에 있는 컬러 성분을 잘 반영한다.

벡터적용필터에서 각과 거리의 정보를 모두 사용할 수도 있고 하나의 정보만을 사용할 수도 있다. 이때 두 가지 정보를 모두 사용하는 것이 좋은 성능을 가진다. 무게중심과 각을 분리해서 각각만을 보면 다른 색임에도 수치적으로 비슷한 값을 가질 수 있다. 따라서 하나의 정보만을 사용할 때는 개선의 가능성이 낮지만 두 가지 정보를 모두 이용하면 어느 한 정보가 비슷한 수치를 가지더라도 다른 정보를 이용하여 개선이 가능하다.

3. 실험 및 검토

실험에 필요한 참조표를 작성하기 위해서 사용한 학습영상과 템플레이트는 참고문헌 [2]와 동일하게 하여 성능비교를 하였으며 템플레이트내의 픽셀수는 R, G, B 각각의 채널에 대하여 상관도가 높은 자신의 채널에는 19개의 픽셀, 상관도가 비교적 낮은 타채널의 픽셀에는 각각 1개씩 설정하여 전체 21개의 픽셀을 사용하였다.

벡터적용필터를 사용한 가중치를 구하기 위해 식 (10)에서 사용하는 두 매개변수는 $\beta=2.0, \gamma=1.0$ 으로 사용하였다[5].

표 1 테스트 영상에 대한 PSNR 결과

처리 방식	BLE	VAF
평균 PSNR	24.74	25.54
존재하지 않는 영역 평균 PSNR	32.67	42.63
존재하지 않는 패턴의 평균 발생 개수	3266	

표 1은 참고문헌 [2]에서 사용한 30개의 테스트 영상을 이용하여 동일한 참조표를 사용하고 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대하여 기존의 방법인 최적선형추정(BLE)을 사용한 경우와 본 논문에서 제안하는 벡터적응필터(VAF)를 사용하였을 때의 각각의 PSNR을 나타내었다. 평균 PSNR은 영상 30개에 대한 평균으로 구하였다. 이때의 PSNR은 패턴이 존재하는 영역과 존재하지 않는 영역을 포함한 영상 전체의 평균 PSNR이며 VAF를 사용한 제안방법이 25.54dB이고 기존의 BLE를 사용한 방법이 24.74dB로 제안한 방법을 사용한 경우가 0.8dB의 성능개선을 보임을 알 수 있다. 이 경우에는 전체 영역에 대한 평가임으로 존재하지 않는 영역 처리에 대한 성능평가를 명확히 알 수 없다. 따라서 제안한 방법의 성능을 확인하기 위하여 참조표에 존재하지 않는 영역만을 선택하여 비교할 필요가 있다. 존재하지 않는 영역 평균 PSNR을 비교하여 보면 제안한 VAF 방법이 42.63dB이고 기존의 BLE 방법이 32.67dB로 VAF 방법이 약 10dB 정도 좋은 결과를 가진다는 것을 알 수 있다. 이 경우에 존재하지 않는 패턴의 평균 발생 개수가 3266개였다.

표 2는 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 반환값을 가진 픽셀의 수량이 서로 다른 영상에 대해서 영상 전체의 PSNR을 구한 것으로 VAF를 각과 거리에 대해 처리하였을 때의 평균 PSNR과 BLE를 사용하였을 때의 평균 PSNR을 나타내었다. NP는 존재하지 않는 패턴의 발생개수로 수가 적을 경우에는 BLE와 VAF 평균 PSNR의 차이가 미미하다. 하지만 NP의 수가 12개에서 4129개까지 증가할수록 평균 PSNR 차이는 0.01dB에서 1.3dB로 점점 증가한다. 이를 통해 NP의 수가 증가하여 참조표에 존재하지 않는 패턴이 많이 발생 할수록 이를 처리하기 위한 방법이 중요하며 이 때 기존의 BLE 방법보다 제안한 VAF 방법이 더 좋은 성능을 가진다는 것을 확인하였다. 그러나 존재하지 않는 패턴의 수가 지나치게 많을 때는 BLE나 VAF 모두 존재하지 않는 패턴의 수가 적을 때보다 성능개선의 정도가 감소하지만 이 경우에도 여전히 기존의 BLE보다 제안된 VAF가 우수함을 알 수 있다.

표 3은 표 2의 실험조건과 동일하나 성능개선의 정도를 파악하기 위하여 참조표에 존재하지 않는 반환값을 가지는 픽셀만에 대한 PSNR을 나타내었다. 존재하지

표 2 존재하지 않는 패턴의 개수와 VAF의 조건에 따른 PSNR 결과 (NP : 존재하지 않는 패턴의 발생 개수)

처리방식	NP	PSNR			
		BLE	VAF		
			각	거리	각, 거리
fiore	12	26.75	26.76	26.75	26.76
goldhill	267	28.15	28.32	28.30	28.32
lena	323	28.23	28.56	28.52	28.56
airplane	544	27.45	28.01	27.93	28.01
yacht	609	27.39	28.00	27.97	28.04
cablecar	837	26.98	27.72	27.59	27.73
sailboat	1351	25.38	26.26	26.22	26.30
mandrill	4129	22.38	23.62	23.52	23.68

표 3 존재하지 않는 패턴의 개수와 VAF의 조건에 따른 존재하지 않는 영역 PSNR 결과 (NP : 존재하지 않는 패턴의 발생 개수)

처리방식	NP	PSNR			
		BLE	VAF		
			각	거리	각, 거리
fiore	12	53.27	66.55	61.48	66.55
goldhill	267	41.87	52.18	49.75	53.59
lena	323	39.22	50.01	47.00	50.67
airplane	544	36.13	45.92	42.54	45.74
yacht	609	35.59	44.72	43.69	47.08
cablecar	837	34.38	43.10	39.89	43.16
sailboat	1351	32.12	41.00	40.00	42.30
mandrill	4129	27.82	36.77	35.05	38.15

않는 패턴의 발생개수가 증가할수록 성능개선의 정도가 감소하지만 발생개수가 4129개로 지나치게 많은 경우에도 제안된 VAF방법이 38.15dB이고 기존의 BLE방법이 27.82dB로 10.33dB 더 좋은 성능을 가짐을 알 수 있다. VAF에 사용하는 가중치를 각만을 사용한 경우와 거리를 사용한 경우, 각과 거리를 모두 사용한 경우를 보면 각과 거리를 모두 사용한 경우가 더 좋은 PSNR을 가짐을 확인할 수 있다.

참조표를 작성하기 위해 사용하는 템플레이트의 크기를 증가시켜 참조표의 성능을 향상시킬 수 있다. 템플레이트의 크기를 증가시키면 참조표상에 존재하지 않는 패턴의 수가 증가하게 된다. 따라서 참조표상에 존재하지 않는 패턴에 대한 처리방법의 중요성이 더욱 커진다. 기존의 BLE방법은 식 (7)을 통해 알 수 있듯이 이미 존재하는 참조표 자체를 이용한 연산이기에 참조표상에 존재하지 않는 패턴의 수가 증가하면 성능개선의 정도가 감소한다. 그러나 제안된 VAF방법은 존재하지 않는 패턴이 발생한 경우에 주변의 컬러 정보를 이용하기 때문에 존재하지 않는 패턴의 수가 증가할수록 상대적으로

로 기존의 BLE보다 더욱 좋은 성능을 보인다. 이를 표 3을 통해 확인할 수 있다.

그림 3부터 그림 8까지를 통해서 기존의 BLE와 제안한 VAF를 이용한 결과를 시각적으로 확인할 수 있다. 그림 3은 연속계조 원영상이고 그림 4는 오류확산법을 이용한 하프톤영상이다. 그림 5는 기존의 BLE를 사용한 역하프토닝을 이용하여 얻은 영상이고 그림 7은 제안한 VAF를 사용한 역하프토닝을 이용하여 얻은 영상이다. 그림 6과 그림 8은 처리 결과를 명확하게 보이게 하기 위하여 각각 그림 5와 그림 7의 특정 부위를 확대한 영상이다. 그림 6과 그림 8의 확대 영상을 보면 기존의 BLE를 사용한 결과 영상은 고주파 성분이 많은 곳의 색 표현이 제대로 안 된 부분이 많은 반면 제안된 VAF를 사용한 결과 영상은 고주파 성분이 많은 곳의 색 표현이 더욱 우수하였다.

4. 결론

본 논문은 참조표와 벡터적용필터를 이용한 역하프토닝 방법을 제안하였다. 하프톤영상은 유실된 정보가 많기 때문에 출력 장치에 디스플레이하기 적합하지 않으므로 유실된 정보를 복원하기 위한 역하프토닝 과정이 필요하다. 참조표는 필터처리와 같은 연산과정을 필요로 하지 않기 때문에 처리속도가 빠르고 다양한 하프토닝 방법에 대해서 고른 성능을 가진다. 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 처리방법으로 벡터적용필터를 제안하였다. 벡터적용필터는 주위 픽셀의 컬러 정보를 이용하기 때문에 기존의 최량선형추정보다 컬러 역하프토닝에서 더 우수한 PSNR을 나타내었다. 영상 전체에 대한 평균

PSNR은 벡터적용필터를 이용했을 때는 25.54dB이고 최량선형추정을 이용했을 때는 24.74dB로 제안된 방법이 약 0.8dB의 더 좋은 PSNR을 보였다. 두 가지 방법에 대한 성능을 더 자세하게 비교하기 위하여 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 실험을 수행 하였다. 존재하지 않는 패턴에 대한 평균 PSNR은 제안된 벡터적용필터를 이용했을 때는 42.63dB이고 기존의 최량선형필터를 이용했을 때는 32.67dB로 제안된 방법이 약 10dB 개선된 PSNR을 보였다. 참조표에 존재하지 않는 패턴의 발생개수에 따른 PSNR은 발생개수가 12개로 작을 경우에는 벡터적용필터는 66.55dB이고 최량선형필터는 53.27dB로 두 방법 모두 좋은 성능을 가지지만 제안된 방법이 13.28dB 더 우수한 결과를 보였다. 발생개수가 4129개로 지나치게 증가하면 벡터적용필터와 최량선형추정을 두 방법 모두 성능저하가 되지만 이 경우에도 벡터적용필터가 38.15dB이고 최량선형필터는 27.82dB로 제안된 방법이 10.33dB 더 좋은 PSNR을 보였다.

참조표를 작성하기 위한 템플릿의 크기를 크게 하면 참조표의 성능이 향상 될 수 있지만 참조표에 존재하지 않는 패턴이 더 많이 발생한다. 이런 경우 기존의 최량선형방법보다 제안된 벡터적용필터가 더 우수한 PSNR을 가질 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] K. L. Chung and S. T. Wu, "Inverse Halftoning Algorithm Using Edge-Based Lookup Table Approach," *IEEE Trans. Image processing*, Vol.14, No. 10, pp. 1583-1589, October 2005.
 [2] M. Mese and P. P. Vaidyanathan, "Look-Up

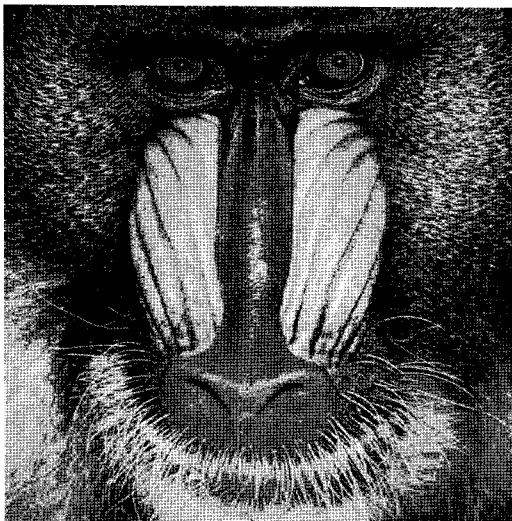


그림 3 연속계조 mandrill 원영상

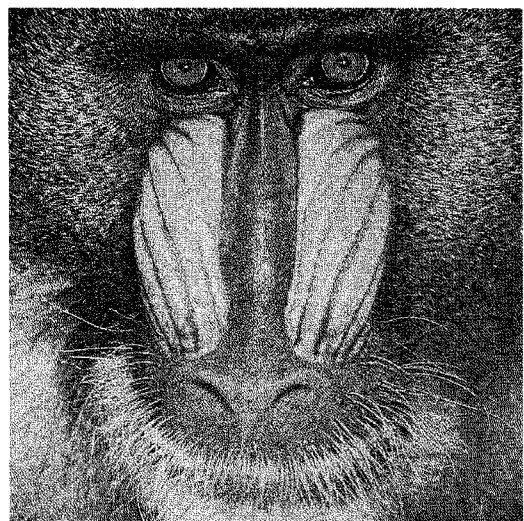


그림 4 오류확산법을 이용한 mandrill 하프톤영상



그림 5 BLE를 이용한 mandrill 역하프토닝 영상

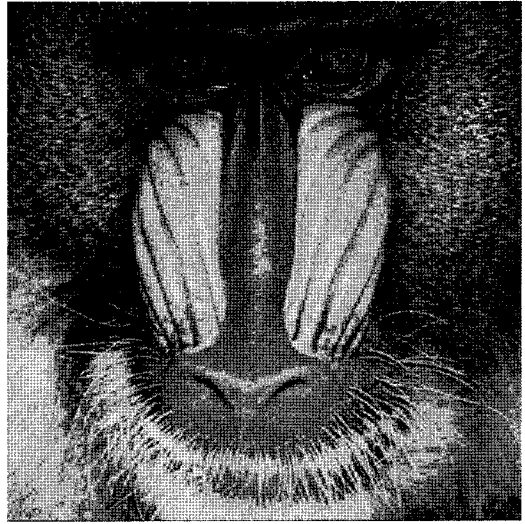


그림 7 VAF를 이용한 mandrill 역하프토닝 영상

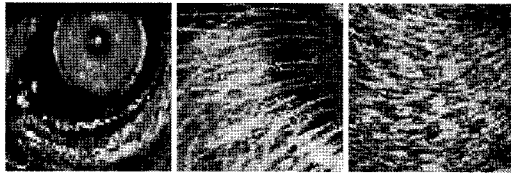


그림 6 그림 5의 눈, 수염, 뺨 부위 확대 영상

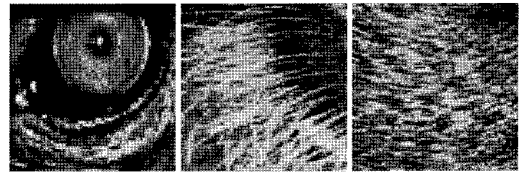


그림 8 그림 7의 눈, 수염, 뺨 부위 확대 영상

Table(LUT) Method for Inverse Halftoning," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.10, No.12, pp. 1566-1578, October 2001.

- [3] A. N. Netravali and E. G. Bowen, "Display of Dithered Images," *Proc SID*, Vol.22, No.3, pp. 185-190, 1981.
- [4] M. Y. Ting and E. A. Riskin, "Error-Diffused Image Compression Using a Binary-To-Gray-Scale Decoder and Predictive Pruned Tree-Structured Vector Quantization," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.3, pp. 854-858, November 1994.
- [5] K. N. Plataniotis, D. Androustos and A. N. Venetsanopoulos, "Color Image Processing Using Adaptive Vector Directional Filters," *IEEE Trans. Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, Vol.45, No.45, pp. 1414-1419, October 1998.
- [6] R. A. Ulichney, *Digital Halftoning*, Cambridge, MA: MIT Press, 1987.



김 찬 수
2007년 영남대학교 전자공학과 공학사. 2007년~현재 영남대학교 전자공학과 석사과정. 관심분야는 영상처리, 디지털 신호처리



김 용 훈
1999년 영남대학교 전자공학과 공학사
2001년 영남대학교 전자공학과 공학석사
2006년 영남대학교 전자공학과 공학박사
2004년~2007년 대구과학대학 정보통신계열 연구교수. 2008년~현재 영남대학교 전자정보공학부 객원교수. 관심분야는 신호처리, 영상검색, 영상통신



이 태 홍
1975년 서울대학교 학사. 1980년 서울대학교 석사. 1997년 서울대학교 공학박사
1976년~1979년 (주) 동양정밀 중앙연구소. 1980년~1981년 (주) 금성전기 기술연구소. 1981년~현재 영남대학교 전자정보공학부 교수. 관심분야는 신호처리, 영상처리, 통신시스템